

**Радиоэкологические проблемы бассейна р.Енисей****Radioecological problems of basin of river Yenisey**

В.П. Атурова<sup>1</sup>, В.А. Домаренко<sup>2</sup>, Л.П. Рихванов<sup>2</sup>, В.В. Коваленко<sup>3</sup>, С.В. Куркатов<sup>4</sup>,  
В.А. Чечёткин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Администрация Красноярского края

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, г. Томск

<sup>3</sup>Государственный центр «Природа», г. Красноярск

<sup>4</sup>Управление Роспотребнадзора по Красноярскому краю

Бассейн р.Енисей, протяженность которого 4092 км, имеет площадь 2580 тыс. км<sup>2</sup> («Географический Атлас России, 1998 г.). В пределах бассейна расположена 5 субъектов Российской Федерации, не включая Иркутскую область. Последняя исключена из рассмотрения радиоэкологических проблем бассейна.

Всю совокупность имеющихся радиоэкологических проблем следует разделить на две группы:

- радиоэкологические проблемы природного характера, которые всегда были, есть и будут;

- радиоэкологические проблемы техногенного характера, обусловленные факторами глобального, регионального и локального выпадения радионуклидов и других причин, связанных с деятельностью человека.

Радиоэкологические проблемы природного характера обусловлены особенностями геологического, гидрогеологического характеров, металлогеническими особенностями площади водосбора.

В силу значительной площади бассейна в его пределах геологическое строение достаточно сложное и включает в себя Алтае-Саянскую и Таймырскую складчатые области, выступы древнего фундамента Сибирской платформы (Енисейский Кряж, Южно-Енисейский Кряж) и собственно Сибирскую платформу, её западную часть).

Всё это в совокупности обуславливает чрезвычайную неоднородность радиогеохимического поля, обусловленного выходами тех или иных типов пород. Содержание урана в них может колебаться от менее 1 г/т (поля развития траппов Сибирской платформы) до 10-30 г/т (области выходов специализированных на уран комплексов гранитоидов, кислых и щелочных вулканитов, черносланцевых толщ, фосфоритов и т.д.), а местами до 100 и более г/т. (Рихванов, 1998, 2009 и др.). Как правило, это незначительные по площади выхода руд редких и радиоактивных элементов (Улугтанзек, Тува; Приморское и др. Хакасия).

Аналогичная ситуация складывается и по содержанию Th и K, изотоп которого K<sup>40</sup>, является радиоактивным. Как следствие, таких уровней накопления U, Th и K<sup>40</sup> в почвах, породах и рудах, интегральный показатель этих концентраций в виде мощности экспозиционной дозы (МЭД) в мкР/час (в системе СИ мкЗв/час) на всей территории бассейна колеблется от 3-5 (0,03-0,05) до 30-50 (0,3-0,5) и чрезвычайно редко в локальных точках МЭД может составлять сотни-первые тысячи мкР/час, что собственно характерно для месторождений U, Th или редкометалльных месторождений с этих элементами.

В пределах изученной территории, которая охватывает СЗ часть горноскладчатых сооружений Восточного Саяна, Таймыра и структуры Енисейского кряжа, выявлено более 2000 проявлений и точек минерализации, около 10 мелких и средних месторождений урана. Одно из них расположено непосредственно в городской черте г. Минусинска на территории микрорайона «Северный». Удельная активность <sup>226</sup>Ra в пробах по данным В.В.Коваленко достигает 13,5 кБк/кг, а суммарный объём рудной залежи равен 7 800 м<sup>3</sup>. Как правило, эти объекты находятся далеко от населённых пунктов и не представляют какой-либо радиационной опасности. Исключение представляет Усть-Ангарское месторождение, отвалы которого, расположенные вблизи одноимённого посёлка, могли создавать радиоэкологическую опасность, но они уже рекультивированы.

Следует отметить, что вышеотмеченные радиоэкологические показатели легко определяются с использованием современных измерительных комплексов в лабораторных, полевых, в том числе дистанционных вариантах, а в наиболее потенциально опасных районах МЭД измеряется в автоматическом непрерывном режиме (система АСКРО). В таком режиме АСКР работает в гг. Красноярске, Железногорске, Зеленогорске и др. населенных пунктах.

Дозовая нагрузка на человека, которая создается от МЭД естественных радиоактивных элементов (U, Th, K<sup>40</sup>) не превышает самых жестких нормативов (1 мЗв/год)

По данным С.В. Куркатова, В.В. Коваленко и др., подавляющее большинство видов минерального строительного сырья, включая отходы производства, и строительных материалов имеют эффективную удельную активность естественных радионуклидов (ЕРН) равную в среднем  $103,1 \pm 1,6$  Бк/кг, что много меньше гигиенического норматива равного 370 Бк/кг. Это позволяет использовать их промышленностью и населением без ограничений по показателям радиационной безопасности.

Выполненная С.И. Арбузовым и его коллегами работа по оценке уровня накопления ценных и токсичных, в том числе радиоактивных элементов, в углях месторождений Тувы, Хакасии, Канско-Ачинского и Иркутского бассейнов (Арбузов и др., 2006, 2007) показала, что общая их радиоэкологическая характеристика удовлетворительная. Но, в ряде случаев, в пределах ряда месторождений отмечаются пласты с повышенным содержанием радиоактивных элементов.. Проявления урановой природы установлены в пределах Иркутского бассейна (Черемховское, Головинское месторождения). Слабо повышенной радиоактивностью обладают угли Кокуйского месторождения Тунгусского бассейна. В неработающих пластах Подкаменно-Тунгусского и Козинского месторождений отмечается высокая радиоактивность углей. Как показывают детальные исследования углей в пределах Минусинского и западной части Канско-Ачинского бассейнов повышенная радиоактивность характерна только для окисленных углей.

С.В. Куркатов и др. отмечают, что в Красноярском крае производится добыча угля на четырёх крупных и ряде второстепенных разрезах. Угли, как правило, характеризуются низкими удельными активностями естественных радионуклидов, не превышающими 10...30 Бк/кг, однако, ограниченные по размерам участки окисленных углей, залегающие обычно на флангах и в кровле угольных пластов, могут содержать аномально высокие концентрации <sup>226</sup>Ra. На Берёзовском разрезе выявлен локальный блок углей, при сжигании которых образуются золошлаки с удельной активностью <sup>226</sup>Ra до 2000 Бк/кг.

Более сложная радиологическая ситуация от природных источников складывается при рассмотрении таких радиоэкологических факторов влияния как концентрация радона (Rn) в воздухе и содержания альфа-излучающих продуктов распада U и Th в подземных водах.

Средняя эквивалентная равновесная объёмная активность (ЭРОА) радона в воздухе помещений поданным В.В. Коваленко и др. составляет 48 Бк/м<sup>3</sup>. Хотя это значение в несколько раз меньше гигиенических нормативов, оно превышает как средний российский показатель, равный 30 Бк/м<sup>3</sup>, так и мировой – 20 Бк/м<sup>3</sup>. Несмотря на кажущуюся незначительность такого превышения, оно, как отмечают врачи-гигиенисты, может приводить почти к 700 избыточным случаям заболевания раком легких на территории края в год. Кроме того, в 15% случаев выявлены помещений с ЭРОА радона в воздухе превышающей норматив, равный 200 Бк/м<sup>3</sup>. Наиболее высокие значения ЭРОА радона установлены в городах Дивногорск (до 1072 Бк/м<sup>3</sup>), Красноярск (до 1844 Бк/м<sup>3</sup>), Минусинск (до 854 Бк/м<sup>3</sup>), Шарыпово (до 545 Бк/м<sup>3</sup>), сёлах Атаманово (до 2816 Бк/м<sup>3</sup>), Бархатово (до 4897 Бк/м<sup>3</sup>), Партизанское (до 455 Бк/м<sup>3</sup>), Терентьево (до 1663 Бк/м<sup>3</sup>), Холмогорское (до 1776 Бк/м<sup>3</sup>) и ряде других. Очевидно, что такая ситуация не может рассматриваться как благополучная. С учётом этого, для территории края дважды

выполнялась прогнозная оценка её радоновой опасности. По результатам последнего прогноза 21 административный район края, 5 городов и 17 крупных населённых пунктов размещаются на территориях, относящихся к первому, самому высокому, и второму уровням по радоноопасности. При этом, например, на территории г. Красноярска, чётко прослеживается зона повышенного радоновыделения, по-видимому, трассирующая зону высокой проницаемости.

Анализ данных радиоактивных свойств природных вод, развитых в регионе, показывает, что радиоактивные воды связаны с самыми разнообразными горными породами, в разной степени обогащенными радиоэлементами, а также теснейшим образом с химическим составом подземных вод и их динамикой, которые в свою очередь определяются условиями формирования и развития геологических структур.

Многолетний опыт проведения радиогидрогеохимических исследований в различных гидрогеологических структурах показывает, что фоновые содержания радиоэлементов в различных водоносных комплексах близки (Домаренко, Кузьмин, 2004). Было установлено, что подземные воды характеризуются повсеместно одинаково низкими фоновыми содержаниями радона (26-30 Бк/л), а на формирование фоновых содержаний урана в существенно влияют климатические особенности района.

По расчётам фоновых значений урана для различных ландшафтов Минусинских впадин получены следующие данные: зона среднегорной тайги – 0,008 Бк/л; лесостепные окраинные части впадин и предгорья – 0,06 Бк/л; степные зоны впадин – 0,08 Бк/л.

В результате обработки материала по радиологическому контролю источников питьевого водоснабжения получены особенности поведения суммарной альфа- ( $\Sigma\alpha$ ) и бета-активностей ( $\Sigma\beta$ ) в подземных водах исследуемой территории.

Анализ этих данных показывает, что во многих случаях наблюдается превышение допустимого уровня  $\Sigma\alpha$ -активности в водах, более чем в 6 раз по нормам СанПиН 559-96 и в 1,2 раза допустимый уровень для вод США. Низкий уровень  $\Sigma\alpha$ -активности в подземных водах Сыдо-Ербинского бассейна (0,108 Бк/л) очевидно связан с недостаточной изученностью бассейна (один населённый пункт), так как радиогидрогеохимическим опробованием здесь выявлены водопункты с максимальным содержанием урана в подземных водах для всей территории Красноярского края – 11,322 Бк/л. По результатам изучения 15,8 % источников подземных и 35 % поверхностных вод, подаваемых населению края централизованными системами, средние значения общей альфа-активности воды находятся в диапазоне от 0,34 до 0,67 Бк/кг. Превышение гигиенического норматива (ГН) общей альфа-активности, равного 0,1 Бк/кг, установлено для 67,5 % проб подземных и 41 % проб поверхностных вод.

Средняя  $\Sigma\alpha$ -активность подземных вод Минусинских впадин также превышает природные вариации  $\Sigma\alpha$ -активности подземных вод средней полосы России.

Рассматривая  $\Sigma\alpha$ -активность в подземных водах гидрогеологических массивов получается, что она выше почти в 2 раза для всех массивов территории края, но в целом близка к среднему уровню для всех гидрогеологических структур края и находится в пределах природных вариаций.

Анализ распределения  $\Sigma\beta$ -активности в водах бассейнов и массивов площади показывает, что  $\Sigma\beta$ -активность в бассейнах выше, нежели в массивах, и в целом близка к средним значениям  $\Sigma\beta$ -активности в водах для всех гидрогеологических структур края и не превышает допустимые уровни СанПиН.

Следует предполагать, что при формировании радиационно-гигиенических нормативов (СанПиН-559-96) не были учтены известные данные о радионуклидном составе природных вод. Утверждённые контрольные уровни по  $\Sigma\alpha$ ,  $\beta$ -активности являются неоправданно завышенными и не имеют никакого серьёзного обоснования. Обычная природная вода, особенно подземная, превышает контрольный уровень  $\Sigma\alpha$ -активности в 80-90 % случаев, так как естественный природный фон по этому показателю

составляет для средней полосы России 0,04-0,36 Бк/л, а для Южных районов Красноярского края 0,108-0,725 Бк/л.

Радиоэкологический фактор в бассейне р.Енисей обусловлен выпадением техногенных радионуклидов от испытания ядерного оружия в атмосфере; от выбросов радиоизотопов от предприятий ядерно-топливного цикла, а их в регионе несколько; использование радионуклидных источников различного назначения, например, так называемых радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГов) и др. Потенциальным источником воздействия могут быть подземные ядерные взрывы.

К числу потенциально опасных относятся значительные площади в центральных районах края, расположенные вдоль Транссибирской магистрали, где существует возможность техногенного радиоактивного загрязнения местности при перевозке железнодорожным транспортом облучённых тепловыделяющих сборок в г. Железногорск для выдержки и длительного хранения на ГХК, а также девять пространственно разобщённых участков земли в северных районах края, в том числе в Таймырском (Долгано-Ненецком) и Эвенкийском АО, на которых много лет назад в интересах народного хозяйства было произведено девять подземных ядерных взрывов. Современная радиационная обстановка на этих участках не известна.

Следует отметить, что существует определённая трудность в определении источников поступления техногенных радионуклидов, особенно определения доли продуктов выпадения от испытания ядерного оружия в атмосфере и от локальных выбросов предприятий, хотя в отдельных случаях участки загрязнения составляют тысячи квадратных километров и прослеживаются до 1000-1500 км по р. Енисей.

Исследованиями последних 10-15 лет (В.В.Коваленко и др.) установлено, что на территории Красноярского края есть ряд участков с аномально высоким уровнем техногенного радиоактивного загрязнения, связанного с функционированием ФГУП «Горно-химический комбинат» (ГХК), расположенного в г. Железногорске. Деятельность этого комбината с конца 50-х до начала 90-х годов была направлена на производство оружейного плутония и постоянно сопровождалась газо-аэрозольными выбросами и жидкими радиоактивными сбросами. Все эти участки расположены в пойме Енисея. В настоящее время радиоактивное загрязнение поймы Енисея прослеживается на протяжении до 1500 км вниз по течению реки от г. Железногорска. На этой территории находятся 62 населённых пункта (НП), в том числе гг. Лесосибирск, Енисейск и Игарка и центры сельских административных районов – сёла Казачинское и Туруханск. В них проживает около 180 тыс. чел.

Наиболее загрязнёнными и достаточно хорошо изученными (Ф.В. Сухоруков, А.Я. Болсуновский, В.В. Коваленко и др.) являются речные наносы и пойменные почвы островов и береговой полосы Енисея, где встречаются локальные участки аккумуляции долгоживущих техногенных радиоактивных нуклидов, таких как  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239,240}\text{Pu}$  с плотностью загрязнения почво-грунтов  $^{137}\text{Cs}$  до 1,5 МБк/м<sup>2</sup> (41 Ки/км<sup>2</sup>). Протяжённость аномальных участков обычно составляет от нескольких метров до первых сотен метров. Мощность дозы внешнего гамма-излучения на них превышает 100 мкР/ч. По данным обследования левого берега Енисея, выполненного нами в 2001-2002 гг., радиоактивное загрязнение пойменных почв ниже Казачинского порога носит сплошной характер.

Участки с аномально высоким уровнем загрязнения обычно расположены вне границ населённых пунктов, однако в г. Енисейске на о-ве Городской концентрация  $^{137}\text{Cs}$  превышает 15 кБк/кг и  $^{239,240}\text{Pu}$  40 Бк/кг. Столь же высокие уровни радиоактивного загрязнения наблюдаются вдоль береговой полосы и на островах у с. Казачинское.

На этих участках периодически обнаруживаются своеобразные «горячие» частицы, содержащие  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и другие трансурановые элементы, которые могут создавать мощность дозы внешнего гамма-излучения до 500 мкР/ч на расстоянии 1 м. В них установлено присутствие  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$ . Максимальная

активность  $^{137}\text{Cs}$  в частицах составляет 29,2 МБк/частицу, что превышает соответствующие значения для горячих частиц из ближней зоны Чернобыльской АЭС [3, 6].

После остановки прямоточных реакторов ГХК в 1992 г. и прекращения сброса в Енисей вод охлаждения прямоточных реакторов ранее загрязнённые речные отложения оказались частично размытыми и разбавленными слабо радиоактивным материалом, а почвы постепенно перекрываются молодыми и более чистыми отложениями. Как следствие, в настоящее время радиоактивные осадки обычно оказываются расположенными не на поверхности, а в глубине аллювиальных отложений – от 30 до 100...140 см. Это приводит к экранированию их гамма-излучения, поэтому даже на аномально загрязнённых участках поймы мощность дозы в воздухе на высоте 10 и 100 см от поверхности почвы может лишь незначительно превышать естественный радиационный фон.

Вторым по уровню техногенного радиоактивного загрязнения, но первым по потенциальной радиационной опасности, является участок, ограниченный 30-км зоной наблюдения ГХК, которая имеет площадь около 2700 км<sup>2</sup>. Здесь находится 30 НП, в том числе – один в ЗАТО г. Железнодорожск, 21 – в Сухобузимском, 5 – в Емельяновском и 4 – в Березовском районах Красноярского края. В них проживает более 150 тыс. человек. Основная часть населения сосредоточена в городах Железнодорожск (102 тыс. чел.) и Сосновоборск (31 тыс. чел.). Остальные НП расположены, преимущественно, на левобережье Енисея и обычно представляют отделения совхозов и АО сельскохозяйственного профиля.

Источником радиоактивного загрязнения 30-км зоны являются газо-аэрозольные выбросы комбината. Дополнительное радиоактивное загрязнение почв 30-км зоны изотопами  $^{137}\text{Cs}$  не выявлено (Коваленко, 2004), хотя для этой цели исследовались пробы не только почвы, но и пыли в местах её долговременной аккумуляции и донных отложений из непроточных водоёмов.

Так, А.Я. Болсуновский (2004) отмечал, что повышенная, по сравнению с фоном концентрация трития (3-5 Бк/л) обнаружена в воде устьев ручьев и рек, водосборы которых расположены в пределах санитарно-защитной зоны ГХК: в р. Шумиха максимальная концентрация трития составила 81 Бк/л, в ручье Плоском - 168 Бк/л, в ручье № 2 - 32 Бк/л. Эти данные согласуются с ранее полученными в 1998 г., что для ручья Плоского и р. Шумиха концентрация трития превышает фоновые значения для Енисея и составляет 56 и 125 Бк/л соответственно.

Обстоятельное изучение плутония в почвах регионов бассейна р.Енисей, выполненное В. П. Атуровой (2001), В.П. Атуровой и др.(2004) показало, что территория Красноярского края может быть разделена на три группы земель, различающихся по уровню загрязнения почв изотопами плутония (табл. 1).

Таблица 1

Районирование территорий Красноярского края по уровню загрязнения почв изотопами  $^{239, 240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$

Категория земель	Значение уд. активности, Бк/кг			
	Среднее	Ме	Минимум	Максимум
1. Почвы Красноярского края вне зоны влияния ГХК	0,32 ± 0,01	0,22	< 0,10	1,98
2. Почвы Красноярского края в границах 30-км зоны ГХК (без пойменных почв в долине Енисея)	0,67 ± 0,11	0,40	< 0,10	13,39
3. Почво-грунты в пойме Енисея в границах зоны наблюдения ГХК (до 1500 км вниз по течению реки от г. Железнодорожска)	5,29 ± 0,77	1,41	< 0,10	70,90

Загрязнение почв на землях первой категории равно  $0,32 \pm 0,01$  Бк/кг. Этот уровень принят нами в качестве фонового, обусловленного глобальными выпадениями плутония. Наиболее загрязнёнными являются пойменные почвы Енисея, относящиеся к землям третьей категории. Здесь при средней удельной активности плутония  $5,29 \pm 0,77$  Бк/кг в отдельных пробах зафиксированы значения, достигающие 71 Бк/кг.

Переходное положение занимают сельскохозяйственные и селитебные почвы 30-км зоны ГХК, относящиеся ко второй категории земель. Их загрязнение происходило газо-аэрозольным путём. Средний уровень загрязнения почв плутонием в этой зоне равен  $0,67 \pm 0,11$  Бк/кг, а максимум составляет 13,4 Бк/кг.

Следует отметить, что на сегодняшний день отсутствуют независимые исследования по радиационной оценке в зоне работы предприятия по разделению и обогащению урана (район г. Зеленогорска). Можно предполагать, как это установлено нами для аналогичного завода в Ангарске (Рихванов Л.П. и др.), избыточное поступление в окружающую природную среду изотопа урана-235.

Обследованная нами радиоэкологическая обстановка, с использованием современных ядерно-физических методов на 5 из 9 площадках проведения ПЯВ, может считаться как удовлетворительная, не представляющая какой-либо радиоэкологической опасности (см. отдельное сообщение в материалах данной конференции).

Оценка дозы облучения на население Красноярского края, выполненная А.И. Григорьевым, В.В. Коваленко, Л.В. Панкратовым, Е.В. Собянинным (2004) показала, что наибольший вклад в эту дозу вносят природные источники ионизирующего излучения (до 70 %) и медицинское облучение (около 29 %). На долю остальных радиационных факторов приходится не более 1 %. Сопоставление дозы облучения населения Красноярского края с диапазоном доз облучения населения других регионов России (2,2 мЗв – 10,8 мЗв), позволяет сделать вывод о том, что дозовая нагрузка в Красноярском крае лишь немного выше среднего уровня по Российской Федерации (3,69 мЗв). Структура средней годовой дозы облучения населения в Красноярском крае практически повторяет структуру по России (73,9 % - природные источники, 25,7 % - медицинское облучение). Таким образом, радиационная обстановка в населённых пунктах и на территориях Красноярского края вне зоны наблюдения ГХК может быть оценена как «благополучная». Однако в зоне наблюдения Горно-химического комбината, занимающей обширные участки земли в пойме Енисея на протяжении 1500 км, имеются участки с уровнем техногенного радиоактивного загрязнения до 40 Ки/км<sup>2</sup>. Такие участки служат причиной дополнительного облучения населения, проживающего в пойме Енисея в пределах зоны наблюдения ГХК, и могут служить источником вторичного радиоактивного загрязнения окружающей среды и представлять потенциальную опасность для населения.

Главными радиационными факторами будущего в бассейне р.Енисей, на наш взгляд, будут техногенные альфа-излучающие радионуклиды (Pu, Am и др.), а также Rn и продукты его распада.

Требуется оценка радиоэкологического статуса территорий, расположенных в бассейне этой реки по этим параметрам.

Необходима объективная оценка дозовых нагрузок на население регионов методами биодозиметрии.